

高等学校机械设计制造及其自动化专业“十三五”规划教材

工程力学习题与 学习指导

◎主 编 曹丽杰

◎主 审 潘 颖

GONGCHENG LIXUE XITI
YUXUEXI ZHIDAO



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

高等学校机械设计制造及其自动化专业“十三五”规划教材

工程力学习题与学习指导

主 编 曹丽杰
副主编 范志毅 刘小妹
主 审 潘 颖

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书是依据“理工科非力学专业基础力学课程教学基本要求”和“卓越工程师教育培养计划”要求而编写的。

全书共 17 章,每一章均包括知识点归纳、典型例题解析和自测题(附参考答案)。本书在编写过程中,借鉴了国内外优秀教材并结合作者多年的教学经验,加强了工程应用,力图帮助读者掌握基本内容,学会分析方法,提高计算能力。

本书可作为高等工科院校非力学专业学生的基础力学课程的辅助教材,也可供使用其他力学教材的读者学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

工程力学习题与学习指导/曹丽杰主编. —西安:西安电子科技大学出版社, 2018. 10

ISBN 978-7-5606-4986-3

I. ① 工… II. ① 曹… III. ① 工程力学—高等学校—教学参考资料

IV. ① TB12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 198707 号

策划编辑 马乐惠

责任编辑 杨 薇

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2018 年 10 月第 1 版 2018 年 10 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 13.5

字 数 319 千字

印 数 1~3000 册

定 价 32.00 元

ISBN 978-7-5606-4986-3/TB

XDUP 5288001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

前 言



本书是和“卓越工程师教育培养计划配套教材”系列教材《理论力学》、《材料力学》、《简明工程力学》(第二版)相配套的教辅用书,是按照教育部力学基础课程教学指导分委员会制定的“理工科非力学专业基础力学课程教学基本要求”和“卓越工程师教育培养计划”(下文简称“卓越计划”)要求而编写的。

上海工程技术大学是教育部提出的“卓越计划”首批试点高校之一,“卓越计划”培养专业从首批的汽车车辆工程、城市轨道交通车辆工程,已经扩展到机械制造及自动化、材料加工工程等专业。为了更好地配合“卓越计划”的开展与实施,编者对卓越班级的力学课程进行了改革探索,立足于“中少学时”,编写了面向工程应用型人才培养的《理论力学》、《材料力学》和《简明工程力学》三本教材。其中,《材料力学》和《简明工程力学》获得 2015 年上海市普通高校优秀教材。为帮助学生理解力学基本概念、加强对基本解题技巧的掌握、提高学生的学习和应试能力,我们编写了与上述教材配套的《工程力学习题与学习指导》一书。

全书共 17 章,每章包括三部分内容:

(1) 知识点归纳:简明扼要地列出本章的知识点,梳理基本概念和基本公式,便于学生从总体上系统地掌握本章的知识体系和重点内容。

(2) 典型例题解析:精选反映各章基本知识点和基本方法的典型例题,给出详细的分析解答过程,以提高学生的综合分析能力。

(3) 自测题:自测题根据章节的不同,分为判断、选择、填空和计算题等,题后附有答案,便于学生自测。

本书由上海工程技术大学机械工程学院工程力学教学部编写,范志毅编写第 1~3 章和第 8、9 章,曹丽杰编写第 4、5 章和第 10~12 章及第 14~17 章,刘小妹编写第 6、7 章及第 13 章。全书由曹丽杰任主编,潘颖任主审。

本书的特点是,对教材内容层层展开归纳梳理,简明扼要,全面具体,在少学时教学情况下,便于学生快速复习,掌握知识点,抓住重、难点,举一反三,提高解题能力。本书作为教辅资料,适合工科非力学专业少学时“理论力学”、“材料力学”、“工程力学”课程使用。

本书在编写过程中,参考了国内外的众多同类优秀书籍,汲取了它们的长处,选用了其中的部分经典例题和习题。需要指出的是,除了已列出的参考文献书目外,编者也参考了其他相关资料,限于篇幅,不逐一列出,编者在此一并对其作者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中不当和错误之处在所难免，恳请读者批评指正，如有宝贵意见和建议，欢迎联系本书编者，电子邮箱：lixuexiti2017@126.com。

编 者
2018年3月

目 录

第 1 章 静力学基础	1
一、知识点归纳	1
二、典型例题解析	3
三、自测题	7
第 2 章 平面力系	10
一、知识点归纳	10
二、典型例题解析	11
三、自测题	17
第 3 章 空间力系	23
一、知识点归纳	23
二、典型例题解析	24
三、自测题	26
第 4 章 点的运动	29
一、知识点归纳	29
二、典型例题解析	31
三、自测题	32
第 5 章 刚体的基本运动	37
一、知识点归纳	37
二、典型例题解析	38
三、自测题	40
第 6 章 点的合成运动	44
一、知识点归纳	44
二、典型例题解析	45
三、自测题	51
第 7 章 刚体的平面运动	56
一、知识点归纳	56
二、典型例题解析	58
三、自测题	61
第 8 章 动力学基本定理	68
一、知识点归纳	68
二、典型例题解析	71
三、自测题	79
第 9 章 达朗贝尔原理	86

一、知识点归纳	86
二、典型例题解析	87
三、自测题	94
第 10 章 轴向拉伸与压缩	99
一、知识点归纳	99
二、典型例题解析	103
三、自测题	109
第 11 章 剪切与挤压	116
一、知识点归纳	116
二、典型例题解析	117
三、自测题	122
第 12 章 扭转	125
一、知识点归纳	125
二、典型例题解析	127
三、自测题	135
第 13 章 弯曲	141
一、知识点归纳	141
二、典型例题解析	145
三、自测题	153
第 14 章 应力状态和强度理论	159
一、知识点归纳	159
二、典型例题解析	163
三、自测题	170
第 15 章 组合变形	177
一、知识点归纳	177
二、典型例题解析	179
三、自测题	185
第 16 章 压杆稳定	192
一、知识点归纳	192
二、典型例题解析	194
三、自测题	197
第 17 章 平面图形几何性质	202
一、知识点归纳	202
二、典型例题解析	204
三、自测题	206
参考文献	210

第1章 静力学基础

一、知识点归纳

1. 静力学公理

公理1 力的平行四边形法则

作用在刚体上同一点的两个力，可以合成为一个合力。合力的作用点不变，合力的大小和方向，由这两个力为边构成的平行四边形的对角线确定(图 1.1(a))，即 $\mathbf{F}_R = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2$ 。

此公理亦可表述为三角形法则：平行移动其中一个力，使两个力首尾相接(图 1.1(b))。合力矢 $\mathbf{F}_R$ ，从起点 O 指向终点，与 $\mathbf{F}_1$ 和 $\mathbf{F}_2$ 形成三角形。

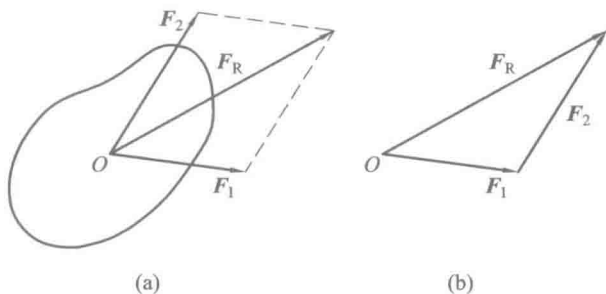


图 1.1

公理2 二力平衡条件

作用在刚体上的两个力，使刚体保持平衡的充要条件是这两个力的大小相等，方向相反，且在同一直线上(图 1.2)，即 $\mathbf{F}_1 = -\mathbf{F}_2$ 。

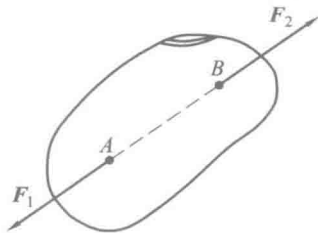


图 1.2

公理3 加减平衡力系原理

在某一力系上加上或减去任意的平衡力系，得到的新力系不改变对刚体的作用效应，

因此可以等效替换原力系。

推理 1 力的可传性

作用于刚体上某点的力，可以沿着其作用线移到刚体内任意一点，不改变力对刚体的作用效应。

推理 2 三力平衡汇交定理

作用于刚体上三个相互平衡的力，若其中两个力的作用线汇交于一点，则此三力必在同一平面内，且第三个力的作用线通过汇交点。

公理 4 作用和反作用定律

作用力和反作用力总是同时存在，两力的大小相等、方向相反，沿着同一直线，分别作用在两个相互作用的物体上。

公理 5 刚化原理

变形体在某一力系作用下处于平衡，如将此变形体视为刚体，其平衡状态保持不变。

2. 约束

1) 约束的定义

约束是指对非自由体的某些位移起限制作用的周围物体。

约束反力是指约束对物体的作用力，简称反力。反力的大小通常是未知的，方向与物体运动趋势相反，作用点在接触点。

2) 约束的类型

(1) 光滑接触面约束。

物体间相互触碰，接触面上摩擦力忽略不计时，属于光滑接触面约束。其约束反力作用在接触点，方向沿接触面公法线，指向物体，如图 1.3(a)所示。

(2) 柔体约束。

柔软的绳索、皮带、链条只能承受拉力，所以它给物体的约束反力只可能是拉力。其约束反力作用在接触点，方向沿着绳索背离物体，如图 1.3(b)所示。

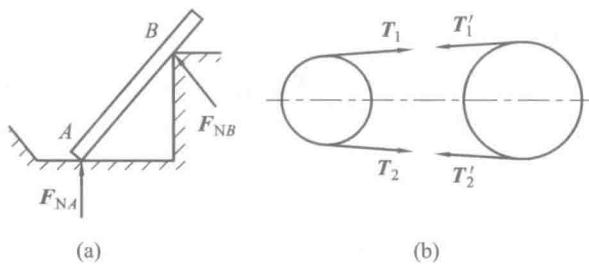
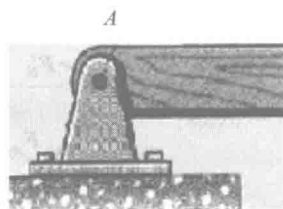


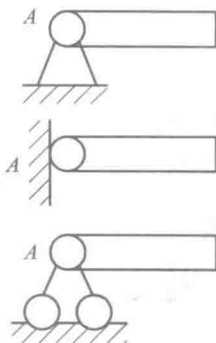
图 1.3

(3) 光滑铰链约束。

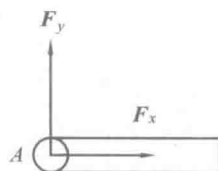
圆柱铰链是由圆柱销钉将两个带相同孔洞的构件连接在一起而成，销钉与孔洞之间认为是光滑接触面约束，销钉对构件的约束反力应沿接触点的公法线方向且通过孔洞中心，通常用一对正交分力 F_x 和 F_y 来表示。光滑铰链约束分为固定铰链支座（见图 1.4）和滚动铰链支座（见图 1.5）。



固定铰链支座

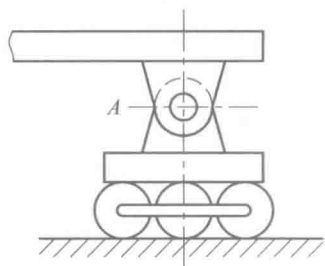


简图

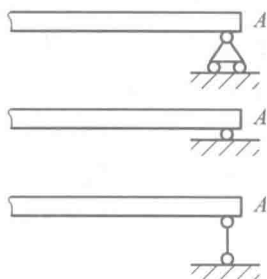


约束反力

图 1.4



滚动支座



简图



约束反力

图 1.5

(4) 固定端。

当梁的一端插入柱子或墙内，不能移动和转动，称为固定端约束，如图 1.6(a)所示。固定端 A 处的约束反力作用可简化为两个约束反力 F_{Ax} 、 F_{Ay} 和一个矩为 M_A 的约束反力偶，分别限制柱子的水平、垂直和转动位移，如图 1.6(b)所示。

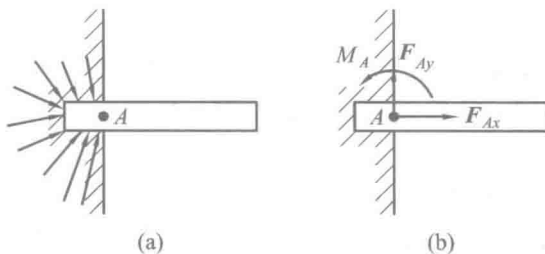


图 1.6

二、典型例题解析

例 1.1 画出图 1.7(a)所示物系整体及各个物体的受力图。所有接触处均光滑。

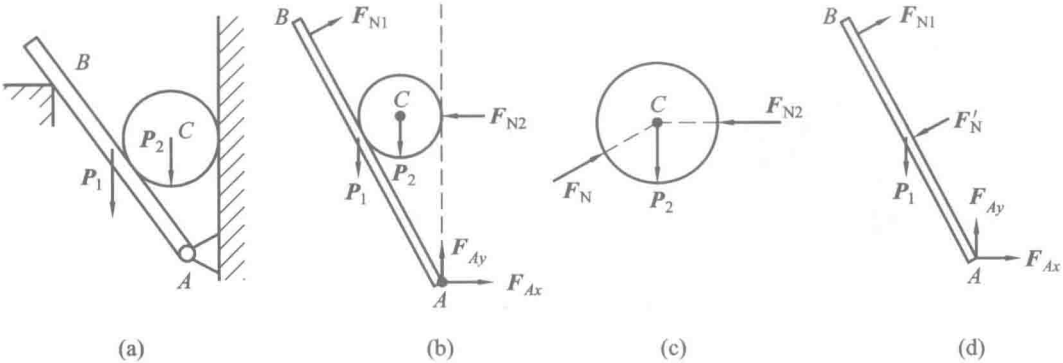


图 1.7

解 (1) 整体受力分析如图 1.7(b)所示：先画主动力，杆和球的重力；再画反力，整体与周围物体有三个接触点，A 为固定铰链支座，B、C 为光滑接触面约束。

(2) 分别取各物体进行受力分析，遵循的原则是从受力简单的物体到受力复杂的物体。先画球，再画 AB 杆，如图 1.7(c)、(d)所示，注意整体与局部同样的力符号相同。

例 1.2 画出图 1.8(a)所示结构整体及各部分的受力图。不计 AB 梁自重，所有接触处均光滑。

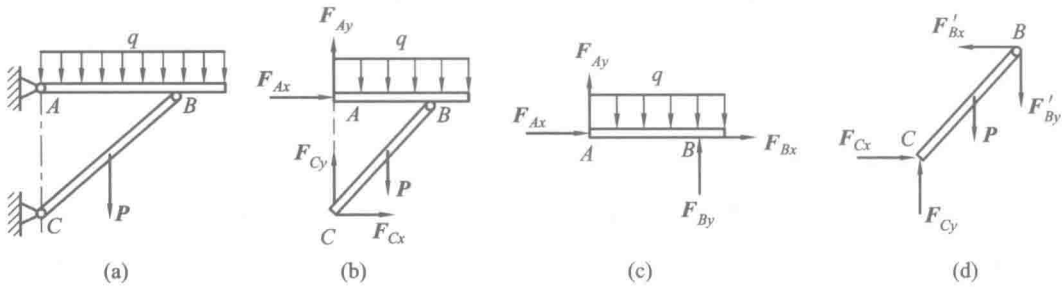


图 1.8

解 (1) 整体受力分析如图 1.8(b)所示：先画分布力和重力 P ，再画反力，整体与周围物体有两个接触点，A、C 均为固定铰链约束，反力方向不能确定，用一对正交力表示。

(2) AB 梁受力分析如图 1.8(c)所示：先画分布力，再画反力，AB 与周围约束有两个接触点，A 为固定铰，B 为铰链，反力方向不能确定，分别用一对正交力表示。注意 A 的反力与整体一致。

(3) BC 梁受力分析如图 1.8(d)所示：先画重力 P ，再画反力，与周围约束有两个接触点 B 和 C，B 为固定铰链，用一对正交力表示，注意正交力的方向和图 1.8(c)中的 B 点反力方向相反，互为作用力和作用反力。C 的反力与图 1.8(b)保持一致。

例 1.3 画出图 1.9(a)所示三铰拱整体及各部分的受力图。不计自重，所有接触处均光滑。

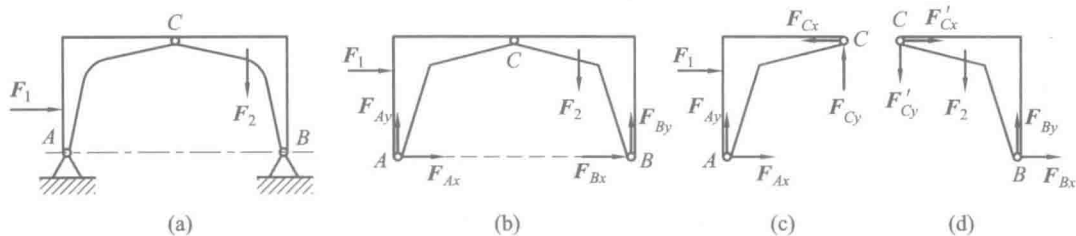


图 1.9

解 (1) 整体受力分析如图 1.9(b)所示: 先画主动力 F_1 、 F_2 , 再画反力, 整体与周围物体有两个接触点, A、B 均为固定铰链约束, 反力方向不能确定, 用一对正交力表示。

(2) AC 受力分析如图 1.9(c)所示: 先画主动力 F_1 , 再画反力, AB 与周围约束有两个接触点, A、C 均为固定铰链约束, 反力方向不能确定, 分别用一对正交力表示。注意 A 的反力与整体一致。

(3) BC 受力分析如图 1.9(d)所示: 先画主动力 F_2 , 再画反力, 与周围约束有两个接触点 B 和 C, C 为固定铰链, 用一对正交力表示, 注意正交力的方向和图 1.9(c)中的 C 点反力方向相反, 互为作用力和作用反力。B 的反力与图 1.9(b)中的保持一致。

例 1.4 画出图 1.10(a)所示物系整体及各个物体的受力图。未画重力物体不计自重, 所有接触处均光滑。

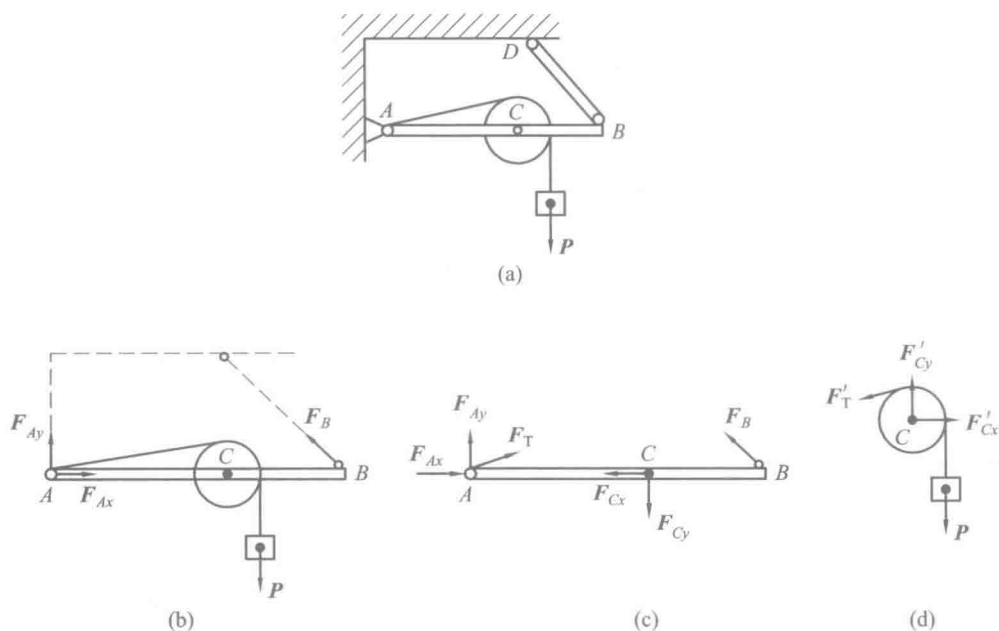


图 1.10

解 (1) 整体受力分析如图 1.10(b)所示: 先画主动力 P , 再画反力, 整体与周围物体有两个接触点, A、B 均为固定铰链约束, A 点反力方向不能确定, 用一对正交力表示。

BD 为二力杆, B 点受拉, 反力方向沿杆离开。

(2) AB 梁受力分析如图 1.10(c) 所示: AB 周围有四个约束, A 点有两个约束, 固定铰链和绳索, 固定铰链的反力与整体保持一致, 柔体约束反力, 沿绳离开物体; C 点固定铰链约束, 方向未确定, 用一对正交力表示。 B 点的反力与整体保持一致。

(3) 轮 C 和物块的受力分析如图 1.10(d) 所示: 先画主动力 P , 再画反力, 与周围约束有绳索和 C 点的固定铰链, 绳索的反力与图 1.10(c) 中绳索的反力方向相反, 互为作用力和作用反力, C 点的反力与图 1.10(c) 中 C 点的反力方向相反, 互为作用力和反作用力。

例 1.5 画出图 1.11(a) 所示结构的整体及各部分的受力图。不计自重, 所有接触处均光滑接触。

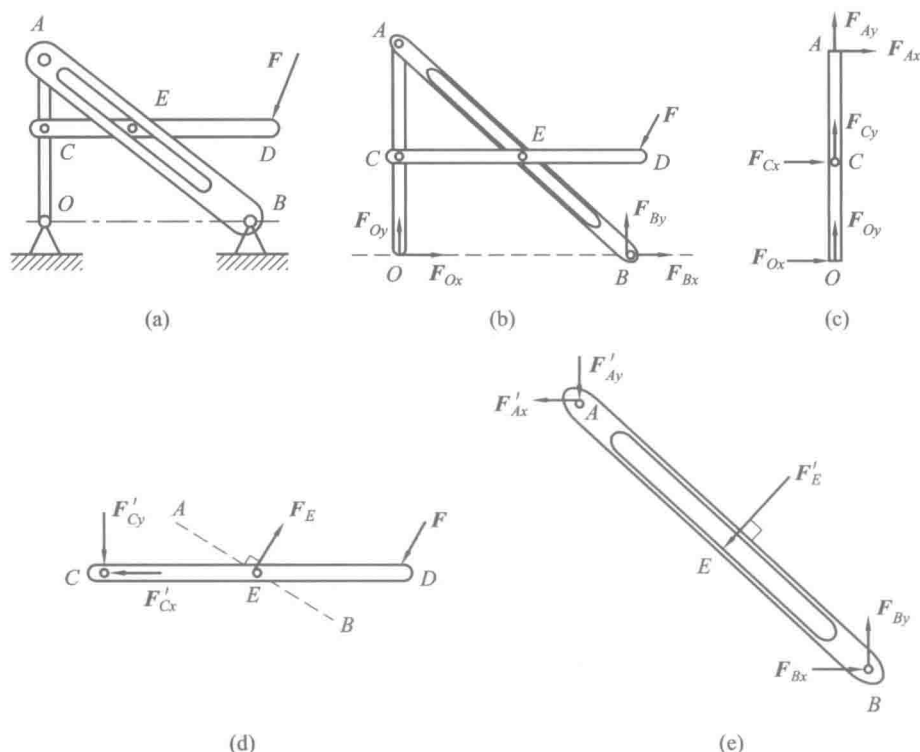


图 1.11

解 (1) 整体受力分析如图 1.11(b) 所示: 先画主动力 F , 再画反力, 整体与周围物体有两个接触点, O 、 B 均为固定铰链约束, 反力方向不能确定, 用一对正交力表示。

(2) OA 杆受力分析如图 1.11(c) 所示: OA 与周围约束有三个接触点, O 、 C 、 A 均为固定铰链约束, 方向未定, 分别用一对正交力表示, O 点的反力与整体保持一致。

(3) CD 梁受力分析如图 1.11(d) 所示: 先画主动力 F , CD 与周围约束有 C 、 E 两个接触点, C 的反力与图 1.11(c) 中的 C 点反力方向相反, 互为作用力和作用反力; E 点为光滑接触面约束, 反力方向垂直于 AB 。

(4) AB 杆受力分析如图 1.11(e) 所示: A 点的反力与图 1.11(c) 中 A 点反力方向相反; E 点的反力与图 1.11(d) 中 E 点的反力方向相反; B 点反力与整体保持一致。

三、自测题

(一) 选择题

- 光滑面对物体的约束反力,作用在接触点处,其方向沿接触面的公法线()。
 (A) 指向受力物体,为压力 (B) 指向受力物体,为拉力
 (C) 背离受力物体,为拉力 (D) 背离受力物体,为压力
- 柔索对物体的约束反力,作用在连接点,方向沿柔索()。
 (A) 指向被约束体,恒为拉力 (B) 背离被约束体,恒为拉力
 (C) 指向被约束体,恒为压力 (D) 背离被约束体,恒为压力
- 如图 1.12 所示,两绳 AB、AC 悬挂一重为 P 的物块,已知夹角 $\alpha < \beta < \gamma = 90^\circ$,若不计绳重,当物块平衡时,将两绳的张力 F_{AB} 、 F_{AC} 大小相比较,则有()。
 (A) $F_{AB} > F_{AC}$ (B) $F_{AB} < F_{AC}$
 (C) $F_{AB} = F_{AC}$ (D) 无法确定

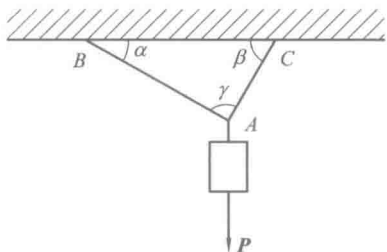


图 1.12

- 在下列公理中,只适用于刚体的是()。
 (A) 二力平衡公理 (B) 力的平行四边形法则
 (C) 刚化原理 (D) 作用与反作用定律
- 加减平衡力系公理适用于()。
 (A) 任意物体 (B) 变形体
 (C) 刚体 (D) 由刚体和变形体组成的系统

参考答案: 1. (A); 2. (B); 3. (B); 4. (A); 5. (C)。

(二) 填空题

- 刚体是指_____的物体。
- 作用于物体上同一点的两个力,可以合成为一个合力,该合力的大小和方向由力的_____确定。
- 两物体间的作用力和反作用力,总是同时存在,且大小_____,方向_____,沿_____,分别作用在这两个物体上。
- 约束反力的方向应与约束所能限制的物体的运动方向_____。
- 如图 1.13 所示弯杆 ABC,不计重量,C 点处受力 F 作用,用作图法可通过_____定理,确定 B 点处支座反力的作用线位置。

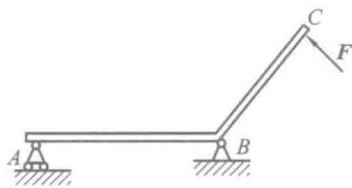


图 1.13

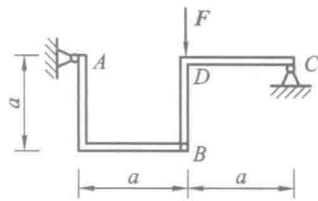


图 1.14

6. 如图 1.14 所示平衡的平面结构中, 两根边长均为 a 的直角弯杆 AB 和 BC 在 B 处铰接。BC 杆的 D 处作用有铅垂力 F , 若不计两弯杆自重和各接触处摩擦, 则根据三力平衡汇交定理, C 处约束反力的作用线沿_____的连线。

7. 图 1.15 所示平面结构, D、E 为铰链, 若不计各构件自重和各接触处摩擦, 则属于二力构件的是杆_____。

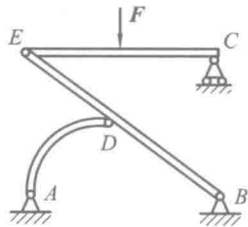


图 1.15

参考答案:

1. 受力不变形; 2. 平行四边形法则或三角形法则; 3. 相等, 相反, 同一作用线; 4. 相反; 5. 三力平衡汇交; 6. BC; 7. AD。

(三) 画图题

1. 试判断图 1.16 所示三种情况下, 铰链 A 的约束反力方向。

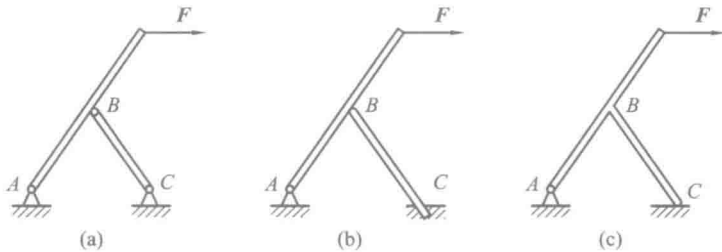


图 1.16

2. 如图 1.17 所示, 分析结构整体及各部分的受力, 未画重力的不计自重, 所有接触均为光滑接触。

3. 分析图 1.18 所示连续梁整体及各部分的受力, 不计杆自重, 所有接触均为光滑接触。

4. 如图 1.19 所示, 分析结构整体及各部分的受力, 未画重力的不计自重, 所有接触均为光滑接触。

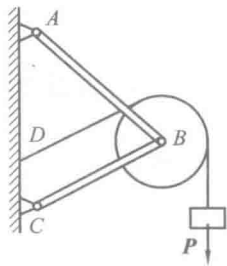


图 1.17

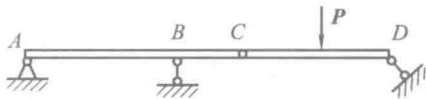


图 1.18

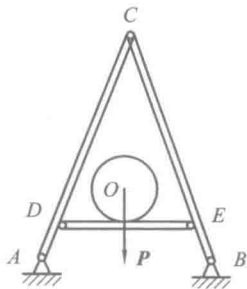


图 1.19

参考答案：1. 如图 1.20 所示；2. 如图 1.21 所示；3. 如图 1.22 所示；4. 如图 1.23 所示。

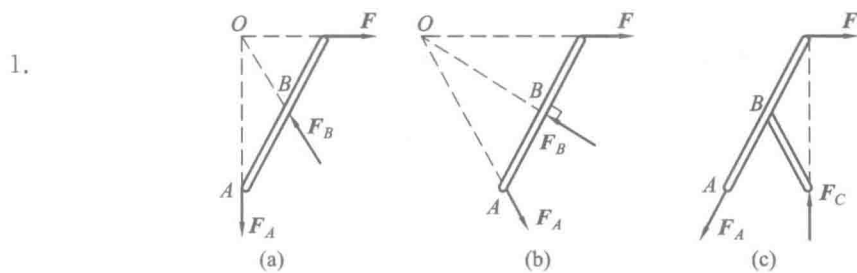


图 1.20

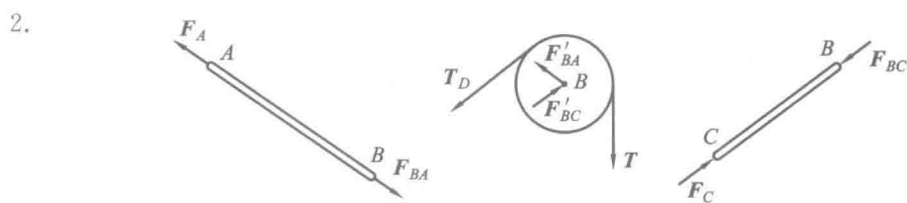


图 1.21

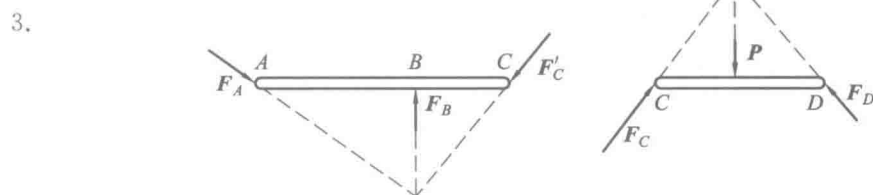


图 1.22

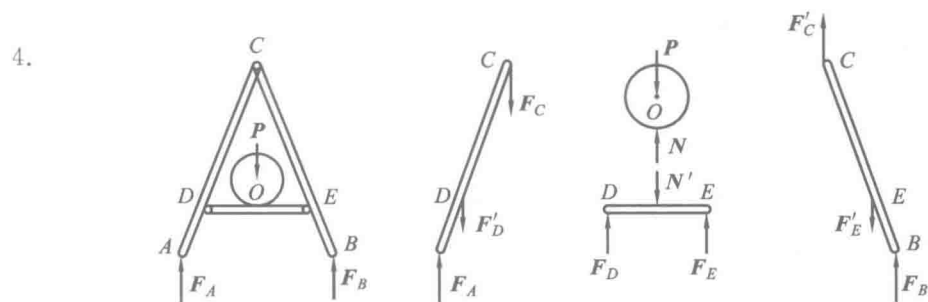


图 1.23

第2章 平面力系

一、知识点归纳

1. 平面汇交力系合成与平衡的几何法

力多边形法则：平行移动各力，使各分力首尾相接，次序可变，合力为封闭边。合力为各分力的矢量和。

平衡的几何条件：力多边形自行封闭。

2. 平面汇交力系合成与平衡的解析法

合力投影定理：合力在某一轴上的投影等于各分力在同一轴上投影的代数和。

合力大小： $F_{Rx} = \sum F_x$ 、 $F_{Ry} = \sum F_y$ ， $F_R = \sqrt{F_{Rx}^2 + F_{Ry}^2}$ 。

方向： $\tan\varphi = F_{Ry}/F_{Rx}$ ， φ 为合力与 x 轴的夹角。

平面汇交力系平衡条件： $\sum F_x = 0$ ， $\sum F_y = 0$

3. 力对点之矩的概念与计算

平面内的力对点 O 之矩是代数量，为： $M_O(\mathbf{F}) = \pm Fh$ ，其中 F 为力的大小， h 为力臂，逆时针转向为正，反之为负。

4. 平面力偶

平面力偶三要素：大小、转向、作用面。力偶大小是力偶矩，即： $M = \pm Fh$ ，其中 F 为力的大小， h 为力偶臂，规定逆时针转向的力偶为正，反之为负。

平面力偶具有以下的特点：

- (1) 力偶没有合力，也不能用一个力来平衡，只能用力偶来平衡。
- (2) 力偶在任何坐标轴上投影都等于力偶矩。
- (3) 力偶对任意点之矩都等于力偶矩。

5. 平面任意力系的简化、平衡条件及平衡方程

力的平移定理：将一个力 $\mathbf{F}$ 的作用线平行移到任意指定点，若不改变 $\mathbf{F}$ 对刚体原来的作用效果，则必须同时附加一个力偶，其力偶矩等于原来的力 $\mathbf{F}$ 对新作用点之矩。

平面任意力系向作用面内任一点的简化结果如下：

主矢的大小和方向为

$$F_{Rx} = \sum F_{ix}, F_{Ry} = \sum F_{iy}, F_R = \sqrt{F_{Rx}^2 + F_{Ry}^2}, \tan\varphi = \frac{F_{Ry}}{F_{Rx}}$$

主矩的大小和方向为